

Ковтун А.І., к. т. н., ст. викл.
Землянська О.В., ст. викл.
Качинська Н.Ф., ст. викл.
Кисиленко В.К., магістр
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАСТОСУВАННЯ АКТИВНИХ МЕТОДІВ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОЇ ЗЙОМКИ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НАФТОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Kovtun A., Cand. Eng. Sc., Assis. Prof.
Zemlyanska O., Assis. Prof.
Kachynska N., Assis. Prof.
Kysylenko V, Msc.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

APPLICATION OF ACTIVE METHODS HYPERSPECTRAL SURVEY FOR REMOTE MONITORING OF OIL PIPELINE SYSTEMS

Розвиток людства характеризується інтенсивним збільшенням техногенного навантаження на навколишнє середовище, що в свою чергу може призводити до погіршення екологічної рівноваги в екосистемі та впливати на життя і здоров'я людей. **Мета.** Метою роботи є аналіз методів еколого-технічного моніторингу магістральних нафтопроводних систем. **Завдання.** Проаналізувати та зробити порівняльний аналіз активних методів гіперспектральної зйомки та інших сучасних існуючих дистанційних методів еколого-технічного моніторингу магістральних нафтопроводних систем з метою отримання найбільш повної інформації про виникнення небезпечних та аварійних ситуацій. **Результати дослідження.** Гіперспектральна зйомка, порівняно з іншими методами моніторингу, дозволяє ідентифікувати об'єкти за їх фізико-хімічним складом, визначати та аналізувати видовий склад і стан рослинного покриву, геологічну структуру територій, досліджувати хімічний та фізичний склад, тощо. З іншого боку, обсяг даних, які доводиться обробляти, фільтрувати, передавати по каналах зв'язку, зберігати, класифікувати виявляється дуже великим. Це, в свою чергу, призводить до обмежених можливостей обробки даних гіперспектральних зображень як на борту безпілотних літальних апаратів (БПЛА), так і складнощів обробки даних в наземних пунктах прийому інформації. **Наукова новизна.** Гіперспектральна зйомка представляє собою удосконалену мультиспектральну зйомку та є найбільш сучасним методом моніторингу нафтопроводів. Завдяки новітнім технологіям число спектральних каналів збільшується від десятків до сотень і навіть тисяч. Визначені переваги застосування цього методу. **Висновки та практичне значення.** Застосування активних методів гіперспектральної зйомки для дистанційного моніторингу нафтопроводних систем є перспективним засобом попередження та ліквідації

аварій на нафтотранспортних об'єктах, однак потребує вирішення деяких технічних задач. Тим не менше, після їх вирішення дані методи моніторингу отримають застосування не тільки в сфері безпеки об'єктів транспортування нафти та дослідження екологічного стану територій при аваріях на цих об'єктах, але й в інших сферах екологічного, геологічного, сільськогосподарського та технічного моніторингу.

Ключові слова: нафтопровідні системи; забруднення нафтою; еколого-технічний моніторинг; гіперспектральна зйомка.

ВСТУП

Актуальність теми. Магістральні нафтопровідні системи відносяться до потенційно небезпечних промислових об'єктів. [1] Насамперед це: ділянки лінійної частини однойменних магістральних нафтопроводів між лінійною запірною арматурою, нафтоперекачуючі станції з резервуарними парками, основні та резервні нитки переходів магістральних нафтопроводів через руслову і заплавну частини водних перепон (між вимикаючою арматурою на протилежних берегах).

Забезпечення їх надійної роботи є однією з найголовніших задач під час транспортування нафти по магістральним трубопроводам, що регламентується НПА ОП 0.00-1.21-07. «Правила безпеки під час експлуатації магістральних нафтопроводів». [2]

З метою попередження виникнення та розвитку аварійних ситуацій здійснюється контроль стану нафтопровідних систем. Складнощі моніторингу виникають через різницю технічного стану багатокілометрових ділянок та всього нафтопроводу в цілому (рис.1).



Рисунок 1 – Транспортування нафти магістральним трубопроводом

Перевищення проектного терміну експлуатації та їх знос роблять актуальною проблему ідентифікації технічного стану нафтопровідних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У міжнародному журналі експериментальної освіти було опубліковано статтю про вплив нафти на навколишнє середовище авторів М. В. Двадненко, Р. В. Маджигатова, Н. А. Ракитянського, у якій було розглянуто та проаналізовано негативний вплив нафтопродуктів на живі організми. [3] Усвідомлення руйнівного негативного впливу розливу нафти на всі складові біосфери спонукає до удосконалення існуючих методів моніторингу виникнення аварійних ситуацій на об'єктах транспортування нафти. Було проаналізовано нормативно-правові документи [1, 2] та публікації С. В. Антонушкина, В. В. Еремеева, А. А. Макаренкова, А. Э. Москвитина, А. А. Юдакова, Р. Н. Ахметова, Н. Р. Стратилатова, А. А. Юдакова, В. И. Везенова, В. В. Еремеева, S. Selci, R. Ablin, C. Helen Sulochana в яких висвітлено можливості аналізу об'єктів земної поверхні за допомогою гіперспектральної зйомки та алгоритми обробки гіперспектральних зображень. [4, 5, 6, 7]

Постановка завдання. Розглянути переваги застосування активних методів гіперспектральної зйомки для дистанційного моніторингу нафтопровідних систем у порівнянні з іншими методами.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Магістральний нафтопровід – це технологічний комплекс, що функціонує як єдина система і до якого входить окремий трубопровід з усіма об'єктами і спорудами, зв'язаними з ним єдиним технологічним процесом, або кілька трубопроводів, якими здійснюється транспортування нафти споживачам. Основними об'єктами магістрального нафтопроводу є лінійна частина, головна і проміжні нафтоперекачувальні станції, бази приймання і відвантажування нафти, пункти підігрівання нафти, станції змішування нафти. [2]

Основною загрозою в разі виникнення аварійних ситуацій на об'єктах транспортування нафти є забруднення навколишнього середовища, що несе загрозу не тільки екосистемі та її складовим, а й життю та здоров'ю людей. Крім того, такі аварії пов'язані з великими економічними збитками, спричиненими втратами сировини та зупинкою виробничого процесу.

Внаслідок аварій на нафтопроводах забруднення нафтою зазнають всі складові біосфери: верхній шар літосфери, гідросфера (зокрема, і підземні води) та атмосфера, що унеможливорює нормальне існування цих територій на тривалий час. Крім того, в наслідок аварій на об'єктах транспортування нафти досить імовірно виникнення пожеж, в результаті яких шкода екосистемі може зростати в рази.

При забрудненні нафтопродуктами ґрунтів змінюється ряд їх ознак і властивостей. В першу чергу, змінюються фізичні властивості, які впливають на морфологічні ознаки ґрунтів, порушується повітрообмін, ускладнюється надходження води і поживних речовин, необхідних для забезпечення життєдіяльності організмів. Порушення функціонування рослинного покриву впливає на інші елементи екосистеми.

Одним з найбільш небезпечних видів забруднень є забруднення гідросфери, так як вода є необхідною складовою, а також середовищем існування для великої частини біосфери. При розтіканні по водній поверхні, нафта забруднює великі площі водойм.

Причиною цьому є вміст в ній поверхнево-активних речовин, що сприяють утворенню стабільних нафтопровідних емульсій.

Утворена при розтіканні нафтопродуктів нафтова плівка перешкоджає повітрообміну – як проникненню кисню в воду, так і видаленню з води вуглекислоти, що негативно впливає на рослинний і тваринний світ. Розчинність нафти у воді незначна, тому накопичення нафтопродуктів відбувається в першу чергу на поверхні і на дні водойм.

Вплив нафтопродуктів на живі організми проявляється в порушеннях фізіологічної активності та виникненні хвороб, викликаних впливом вуглеводневих сполук на організм. Частина фракцій, що містяться в нафті, є дуже токсичними – чим вище концентрація даних фракцій при поглинанні або розчиненні їх у воді, тим вище їх токсичність. Крім того, нафта утворює токсичні емульсії, які викликають задуху у живих організмів [3].

Сьогодні існує велика кількість засобів захисту навколишнього середовища від забруднень нафтою і нафтопродуктами під час їх транспортування по трубопровідним системам, однак ні один з них не може вважатись абсолютним. Серед засобів попередження та ліквідації аварій на об'єктах транспортування нафти важливе місце посідає дистанційний еколого-технічний моніторинг. Стрімкий розвиток технологій дав поштовх для використання новітніх методів дослідження.

Найбільш ефективним і економічно вигідним методом дистанційного моніторингу нафтопроводів є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). БПЛА мають явну перевагу перед пілотованими системами в ситуаціях, коли потрібна оперативність та мають більшу функціональність, ніж супутникові системи моніторингу.

Найбільш поширеними методами дистанційного еколого-технічного моніторингу нафтопроводів є:

- *фотографічний метод* – це отримання зображень нафтопроводів та нафтових забруднень, що дозволяє оцінити наявність та розміри розливів нафтопродуктів шляхом фотографування забрудненої поверхні у видимому діапазоні довжин хвиль;
- *фотометричний метод* – це отримання зображень нафтових забруднень в ультрафіолетовому або інфрачервоному діапазонах; дозволяє оцінити не тільки наявність та розміри розливів, а й визначити об'єм та фізико-хімічний стан нафти;
- *радіометричний метод* – це отримання зображень нафтових забруднень в діапазоні радіохвиль; за функціональністю він є аналогічним фотометричному методу, однак зазвичай потребує застосування активних засобів підсвічування об'єктів моніторингу.

Дистанційні методи виявлення нафтових забруднень діляться на пасивні та активні. Пасивні методи передбачають реєстрацію теплового випромінювання поверхні, відбитого сонячного випромінювання, а також власного гамма-випромінювання нафти. При застосуванні активних методів поверхня опромінюється випромінюванням штучного джерела, а пристрої приймання реєструють відбите або флуоресцентне випромінювання.

Інфрачервоне випромінювання. Моніторинг здійснюється за допомогою реєстрації прямого і розсіяного сонячного випромінювання диференційними або спектрорадіометрами та дозволяє визначити нафтовий розлив завдяки контрасту інтенсивності випромінювання і температури чистої та забрудненої поверхонь.

Ультрафіолетове випромінювання. Виявлення нафтових розливів в ультрафіолетовому діапазоні можливо завдяки різним відбиваючим властивостям поверхні і нафти ультрафіолетової складової сонячного випромінювання.

Пасивна мікрохвильова радіометрія. Дає можливість визначати товщину нафтових розливів шляхом вимірювання спектру частот власного теплового випромінювання нафти мікрохвильовим радіометром.

Радіолокація. Активний метод моніторингу нафтових розливів, що здатний виявляти нафтові розливи завтовшки від 3 мкм за рахунок різного фізичного стану чистої і покритою нафтою поверхонь.

Лазерна локація. Об'єкт підсвічується монохроматичним лазерним променем в ближньому ультрафіолетовому або видимому діапазонах довжин хвиль, а система з лазерним локатором виявляє відбите або флуоресцентне світло. Цей метод дозволяє класифікувати конкретний тип нафти на поверхні розливу та визначати його товщину.

Мультиспектральна зйомка. При мультиспектральній зйомці одночасно формується кілька зображень території в різних діапазонах хвиль спектра електромагнітного випромінювання. Різні комбінації цих зображень дозволяють виявити процеси і явища, які складно або неможливо визначити на знімку у видимому діапазоні. Метод мультиспектральної зйомки поєднує в собі як фотографічні методи (видимий діапазон довжин хвиль), так і фотометричні (інфрачервоний та ультрафіолетовий діапазони довжин хвиль). Крім розмірів та об'єму розливів дозволяє оцінити фізико-хімічний стан нафти та навколишніх забруднених територій. [4, 5]

Гіперспектральна зйомка. Найбільш сучасним методом моніторингу нафтопроводів, який представляє собою удосконалену мультиспектральну зйомку, є гіперспектральна зйомка. Завдяки новим технологіям число спектральних каналів збільшується від десятків до сотень і навіть тисяч.

Гіперспектральний детектор реєструє відбите від об'єкта моніторингу електромагнітне випромінювання, ділить його на вузькі спектральні смуги, обробляє та записує, фіксуючи спектральну характеристику кожного пікселя зображення.

Таким чином, гіперспектральний знімок представляє собою багатовимірне просторово-спектральне зображення, в якому кожна елементарна ділянка зображення (піксель) характеризується власним спектром.

Гіперспектральна зйомка, на відміну від інших методів моніторингу, дозволяє ідентифікувати об'єкти за їх фізико-хімічним складом, визначати та аналізувати видовий склад і стан рослинного покриву, геологічну структуру територій, досліджувати хімічний та фізичний склад, тощо. [4]

При цьому можливості гіперспектральної зйомки значним чином обмежені особливостями природного випромінювання речовин, що залежать від їх фізичних та хімічних властивостей, сонячної активності, температури, та ін. Використання пасивних методів реєстрації природного випромінювання, активних методів радіолокаційного та оптичного штучного підсвічування досліджуваних речовин дозволяє отримувати повну інформацію про них незалежно від зовнішніх факторів та розширювати можливості використання гіперспектральної зйомки до небачених масштабів. [6, 7]

Висока спектральна розрізняюча здатність (близько 10 нм) і одночасне використання видимого, інфрачервоного, ультрафіолетового та радіо діапазонів надає можливість застосування різних методів вилучення корисної інформації з спектральних сигнатур. З

іншого боку, обсяг даних, які доводиться обробляти (фільтрувати, передавати по каналах зв'язку, зберігати, класифікувати) виявляється дуже великим. Це, в свою чергу, призводить до обмежених можливостей обробки даних гіперспектральних зображень як на борту БПЛА, так і складнощів обробки даних в наземних пунктах прийому інформації.

Таким чином, для застосування активних методів гіперспектральної зйомки для дистанційного моніторингу нафтопровідних систем за допомогою БПЛА необхідно вирішити ряд складних технічних задач, а саме:

- вдосконалити існуючі або розробити нові методи обробки, класифікації, дослідження та аналізу гіперспектральних зображень; існуючі на сьогоднішній день рішення в сфері обробки гіперспектральних зображень не дозволяють в повній мірі використовувати всі можливості даного методу моніторингу;
- створити технічні засоби реєстрації пасивного та активного випромінювання об'єктів; використання БПЛА накладає значні обмеження на розміри та енергетичні показники обладнання випромінювання та реєстрації зображень;
- створити технічні та програмні засоби обробки та зберігання гіперспектральних зображень, забезпечити оптимізацію та автоматизацію їх попередньої обробки як на борту БПЛА, так і в наземних пунктах обробки інформації;
- створити технічні засоби передавання інформації від БПЛА до наземних пунктів обробки інформації.

ВИСНОВКИ

Застосування активних методів гіперспектральної зйомки для дистанційного моніторингу нафтопровідних систем є перспективним засобом попередження та ліквідації аварій на нафтотранспортних об'єктах, однак потребує вирішення деяких технічних питань. Тим не менше, після їх вирішення дані методи моніторингу отримають застосування не тільки в сфері безпеки об'єктів транспортування нафти та дослідження екологічного стану територій при аваріях на цих об'єктах, але й в інших сферах екологічного, геологічного, сільськогосподарського та технічного моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОРІ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про об'єкти підвищеної небезпеки (Законі України). № 2245-III. (2014). Вилучено з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.
2. Правила безпеки під час експлуатації магістральних нафтопроводів (НПАОП 0.00-1.21-07). Вилучено з https://dnaop.com/html/2044/doc-НПАОП_0.00-1.21-07.
3. Двадненко, М. В., Маджигатов, Р. В., & Ракитянский, Н. А. (2017). Воздействие нефти на окружающую среду. *Международный журнал экспериментального образования*, (3-1), 89-90.
4. Антонушкина, С. В., Еремеев, В. В., Макаренков, А. А., Москвитин, А. Э., & Юдаков, А. А. (2011). Новые возможности анализа объектов земной поверхности на основе гиперспектральной съёмки. *Актуальные проблемы ракетно-космической техники: материалы II Всероссийской научно-технической конференции*. (с. 26-27). Самара, Россия: Самарский научный центр РАН.
5. Ахметов, Р. Н., Стратилатов, Н. Р., Юдаков, А. А., Везенов, В. И., & Еремеев, В. В. (2014). Модели формирования и некоторые алгоритмы обработки

гиперспектральных изображений. *Исследование Земли из космоса*, (1), 17-28. ISSN 0205-9614.

6. Selci, S. (2019) The Future of Hyperspectral Imaging. *Basel MDPI*,. ISBN 978-3-03921-822-6.

7. Ablin, R., & Helen Sulochana, C.. (2013). A Survey of Hyperspectral Image Classification in Remote Sensing. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Hyperspectral-Image-Classification-in-Ablin-Sulochana/8e6b7>.

REFERENCES

1. About high-risk objects (Law of Ukraine). № 2245-III. (2014). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.

2. Safety rules for the operation of oil trunk pipelines (NPAOP 0.00-1.21-07). Retrieved from: https://dnaop.com/html/2044/doc-НПАОП_0.00-1.21-07.

3. Dvadnenko, M. V., Majigatov, G. V., & Rakityankiy, N. A. (2017) The effect of the oil on the environment. *International journal of experimental education*, (3-1), 89-90.

4. Antonushkina, S. V., Ereemeev, V. V., Makarenkov, A. A., Moskvitin, A. E., & Yudakov, A. A. (2011). New features of analysis of objects on the earth's surface based on hyperspectral survey. *Actual problems of rocket and space technology: materials of the II All-Russian scientific and technical conference*. (pp. 26-27). 2011, Samara, Russia: Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.

5. Akhmetov, R. N., Stratilatov, N. R., Yudakov, A. A., Vezenov, V. I., & Ereemeev, V. V. (2014). Formation models and some algorithms for processing hyperspectral images. *Exploration of the Earth from Space*, (1), 17-28. ISSN 0205-9614.

6. S. Selci. (2019) The Future of Hyperspectral Imaging. *Basel MDPI*,. ISBN 978-3-03921-822-6.

7. R. Ablin, & C. Helen Sulochana. (2013). A Survey of Hyperspectral Image Classification in Remote Sensing. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Hyperspectral-Image-Classification-in-Ablin-Sulochana/8e6b7>.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2020.